M. Höing.

Diss. Rostock.

1901

Optischer Nutzeffect electrodenloser Vacuumröhren.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen philosophischen Fakultät der Universität Rostock

vorgelegt

von

Martin Hönig

aus Berlin.

Berlin.

Gedruckt bei Julius Sittenfeld

1901.

Referent: Herr Prof. Dr. R. Wachsmuth.

Meinen Eltern.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549202_0095

I.

Schon vor beinahe 200 Jahren wurden Versuche mit elektrodenlosen Vacuumröhren ausgeführt. So fand Hawksbee[1]) im Jahre 1707, dass ein elektrodenloses Vacuumrohr bei rascher Annäherung an einen geriebenen Glasstab plötzlich aufleuchtete. Die Versuche wurden fortgesetzt und erweitert von Grummet[2]), Canton[3]). Später veröffentlichte Cavallo[4]) weitere Versuche unter der Ueberschrift: „Das Nordlicht", indem er das Leuchten einer „luftleeren und an beiden Enden verschlossenen Glasröhre" beschreibt, wenn man sie an dem einen Ende hält und das andere an den Konduktor einer Elektrisiermaschine bringt. Hierzu bemerkt er: „Das merkwürdigste bei diesem Versuche ist, dass die Röhre, wenn sie schon von dem Konduktor hinweggenommen ist, selbst lange Zeit nachher, sogleich aufs neue starke Lichtstreifen zeigt, wenn man sie mit der Hand ergreift."

---

1) Hawksbee, Phil. Trans. (1707)
2) Grummet, Mechaniker in Dresden (1719—1776).
3) Pristley, Geschichte der Electricität.
4) Cavallo, Vollständ. Abhandl. der Electricität S. 166 (1785).

Aehnliche Versuche erwähnt P. Riess[1]), und sowohl er als auch schon Cavallo führen diese Erscheinungen auf elektrostatische Wirkungen zurück.

An die älteren Versuche schliessen sich solche von Quet und Seguin (1858), Plücker (1859), von Lommel, Geissler, Alvergeniat, Salet, Botomley, L. Weber, Edlund[2]) und Anderen mehr an. Sie brachten durch Annäherung einer elektrodenlosen Röhre an einen Konduktor einer Influenzmaschine das verdünnte Gas zum Leuchten. Dieses jetzt erfolgte Leuchten wurde als eine Folge von Influenz aufgefasst und zwar derart, dass beim Laden des Konduktors eine allmähliche Scheidung der Elektricitäten im Innern der Röhre eintrete und beim plötzlichen Entladen Wiedervereinigung unter starker Lichtentwickelung.

In späteren Jahren war man zu der Beobachtung gekommen, dass in einem elektrodenlosen Vacuumrohr, wenn es sich in einem magnetischen Felde befindet, dessen Intensität plötzlich geändert wird, Lichterscheinungen infolge von Induktionsströmen in der Röhre auftraten, sobald die induzierte elektromotorische Kraft gleich dem Entladungspotentialgefälle wird.

Schon Hittorf[3]) (1869) fand, dass sich ein leuchtender Ring in einer elektrodenlosen Kugel bildete, wenn diese in eine Drahtrolle von wenig Windungen hineingehalten wurde, durch die die oscillatorische Ent-

---

[1]) P. Riess, Reibungselectricität II 151 S. 693 (1853).
[2]) Edlund, Beibl. 8. 145. 1884.
[3]) Hittorf, Wied. Ann. 21 p. 138, 1884.

ladung einer Leydener Flasche hindurchging. Er glaubte, dass dieses Leuchten durch elektrodynamische Induktion erzeugt würde, gerade als ob durch Induktion eine in sich zurücklaufende Entladung in dem verdünnten Gase stattfinde.

Aehnliche Versuche stellte J. Moser[1]) an, indem er eine geschlossene, unveränderliche, elektrodenlose Röhre mit einer etwas längeren und weiteren umgab und das Aufleuchten der Röhre bei verschiedenem Druck in der weiteren Röhre beobachtete und untersuchte.

E. C. Rimington und W. Smith[2]) beschreiben Versuche mit Vacuumröhren ohne Elektroden, die in konstanten elektrischen Feldern rotierend oder in periodisch wechselnden Magnetfeldern ruhend aufleuchten. Bei weiteren Versuchen liegen die Vacuumröhren sowohl in einem elektrostatischen wie in einem elektromagnetischen Felde, die beide mit gleicher oder entgegengesetzter Phase periodisch wechseln; sie werden nämlich in eine von dem Entladungsdraht einer Leydener Flaschenbatterie gebildeten Schleife und zwischen 2 mit den Belegungen verbundenen Metallplatten gelegt. Es zeigt sich, dass die gleichzeitige Wirkung des elektrostatischen Feldes die Entladung in dem wechselnden Magnetfelde erleichtern kann.

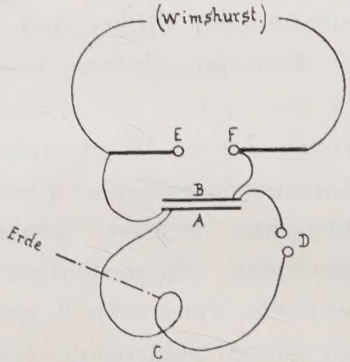
J. J. Thomson[3]) wiederholte zunächst die im wesentlichen schon früher von Hittorf und Moser

---

[1]) J. Moser C. R. 110 pag. 387—399 (1890).
[2]) Phil. Mag. (5) 35 pag. 68 (1893) und pag. 506.
[3]) J. J. Thomson Phil. Mag. (5) 32 pag. 321 und 445 (1891).

ausgeführten Versuche. Die Anordnung, die er hierbei benutzte, war folgende:

Die innere Belegung der Leydener Flasche *A* steht in leitender Verbindung mit dem einen Pol der Wimshurstschen Elektrisiermaschine sowohl, als auch durch den Draht *A C D*, der bei *C* einige Windungen hat, in Verbindung mit der Funkenstrecke *D*.



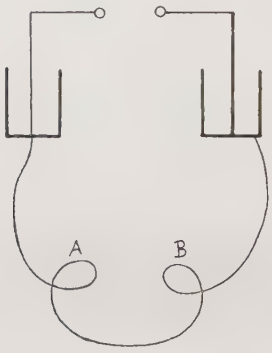
Die äussere Belegung der Flasche ist sowohl mit dem anderen Pol der Elektrisiermaschine als mit der Funkenstrecke leitend verbunden. Die Windungen bei *C* sind ganz nach der Gestalt der Entladungsröhren, die hineingebracht werden, rechteckig oder kreisförmig gemacht. Thomson betrachtet nun die Windungen bei *C* als primäre, die hineingebrachte elektrodenlose Vacuumröhre als secundäre Spule. Ist zwischen *A* und *B* die Potentialdifferenz hinreichend gross, so springt bei *D* ein Funke über, und die darauf folgenden Oscillationen erzeugen in der Nähe, speciell aber im Innern der Spule *C*, eine elektromotorische Kraft, die im Stande ist, bei

richtiger Verdünnung des in der Entladungsröhre befindlichen Gases dasselbe zum Leuchten zu bringen.

Thomson untersuchte ferner die Wirkung eines Magneten auf die Entladung. Die Lichterscheinungen in diesen Vacuumröhren werden durch periodische Strömungen, die in entgegengesetzten Richtungen hin und her gehen, hervorgerufen und sind in Folge dessen selbst periodisch. Es lag also die Vermutung vor, dass die Kontinuität der Lichterscheinungen nur eine scheinbare ist, und dass sie von der Superposition zweier geschichteter Entladungen herrührt, wobei die Stellen der Maximalhelligkeit der einen, sich mit den Stellen der Minimalhelllgkeit der andern decken. Wenn nun eine magnetische Kraft senkrecht zu den in entgegengesetzten Richtungen erfolgenden Entladungen wirkt, so wird eine entgegengesetzte Verschiebung derselben eintreten. Es gelang ihm also, durch Anwendung einer magnetischen Kraft die Entladungen entgegengesetzter Richtungen zu trennen und einzeln zu beobachten. Er untersuchte ferner die Schirmwirkungen der Ströme sowohl als auch den Einfluss von Leitern in der Nähe der Entladungsröhren.

Auch benutzte Thomson die alternierenden Entladungen einer Leydener Batterie, um den Einfluss verschiedener Körper auf schnelle elektrische Schwingungen zu untersuchen. Die Innenbelegungen zweier Leydener Flaschen wurden entgegengesetzt geladen, die Aussenbelege durch einen Draht verbunden, der an zwei Stellen Windungen erhielt.

In *A* wurde ein Vacuumgefäss ohne Elektrode gebracht, in *B* der zu untersuchende Körper. Eine Vacuumröhre in *B* ergab eine schöne Entladungserscheinung in dieser, während die in *A* aufhörte; eine Röhre mit einem sehr verdünnten Elektrolyt brachte



keine Aenderung in *A*, erst bei grosser Konzentration wurde die Entladung herabgesetzt. Ein Messingstück in *B* beförderte die Entladung in *A*, ein Eisenstück hinderte sie, ebenso ein Graphittiegel. Die Wirkung hängt augenscheinlich von der Grösse der in *B* geleisteten Arbeit ab. Die bei einem gegenseitigen Induktionscoefficienten *M* in einem Sekundärkreis von Widerstand *R* und der Selbstinduction *L* von einem primären Wechselstrom von der Frequenz p geleistete Arbeit ist:

$$A = \frac{R\, M^2\, p^2}{L^2\, p^2 + R^2}$$

und daher ein Maximum, wenn $R = p\, L$ ist.

Auch E. Wiedemann und G. C. Schmidt[1]) fanden, dass unter dem Einfluss elektrischer Ent-

[1]) Wiedemann, Ann. 56. 18. 1895.

ladungen zahlreiche organische Dämpfe mit ganz bestimmter Farbe »elektroluminiszieren«, und zwar sowohl bei Anwendung von äusseren als auch inneren Elektroden. Im letzteren Falle traten elektrische Schwingungen auf.

Spätere Versuche ergaben, dass auch an den Endkondensatoren eines überbrückten Lecherschen Drahtsystems in elektrodenlosen Röhren zahlreiche Dämpfe hell aufleuchteten.

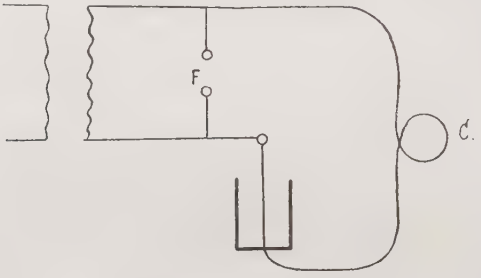
2.

Meine Aufgabe war es nun, zu untersuchen, bei welcher Versuchsanordnung der grösste optische Nutzeffekt dieser elektrodenlosen Vacuumröhren sich erreichen lässt, und wie gross derselbe ist. Um überhaupt eine Leuchterscheinung in elektrodenlosen Vacuumröhren hervorzurufen, ist es nötig, im Entladungskreis eine hohe elektromotorische Kraft zu erzeugen, die durch elektromagnetische Induktion auf die Röhre wirkt. Am besten eignen sich hierzu die oscillatorischen Entladungen einer Leydener Flasche, da sowohl der Maximalwert als auch die Wechselzahl des Stromes ausserordentlich hoch sind.

Die Versuchsanordnung, die ich wählte, war folgende:

Der eine Pol der sekundären Spule eines Induktoriums, dessen primäre Spule mit 4 Ampere bei 110 Volt Spannung gespeist wurde, war in leitender Verbindung mit der inneren Belegung einer Leydener Flasche von $1{,}_7$ l Inhalt oder $0{,}_{009675}$ Mikrofarad Kapacität. Die äussere Belegung war mit einem Kupferring von wenigen Windungen und dem anderen

Pole der sekundären Spule verbunden. Parallel dazu war eine Funkenstrecke gelegt. Wird nun Strom in die primäre Spule geschickt, so treten durch die Leydener Flasche und Funkenstrecke oscillierende Schwingungen im [sagen wir III.] Stromkreis auf, also auch in den Windungen des Kupferringes. Wurde jetzt in diesen Kupferring eine evakuierte Glaskugel, in der



Quecksilber zum Verdampfen gebracht war, eingeführt, so leuchtete dieselbe hell auf. Es bildete sich ein bläulich schimmernder Ring aus, dessen Breite mit der Anzahl der Windungen wuchs. Das Leuchten tritt bei einem ganz bestimmten Druck auf.

War eine Glaskugel, in die etwas Quecksilber gebracht worden war, an die Luftpumpe angeschmolzen, und wurde die Kugel diesen elektrischen Schwingungen ausgesetzt, so trat nach einigen Pumpenzügen ein mattes Leuchten auf, indem sich ein schwacher rosafarbiger Ring leuchtender Luft ausbildete, der nach weiterem Pumpen immer heller wurde, bis allmählich das Rosa in Weiss überging, d. h. Quecksilberdämpfe auftraten. Bei einem ganz bestimmten Druck, den ich leider nicht feststellen konnte, da mir kein Mano-

meter zur Verfügung stand, trat das Maximum des Leuchtens auf; 2—3 Pumpenzüge weiter, und das Leuchten verschwand vollständig. Man konnte es aber durch Erwärmen des Hg in der Glaskugel wieder herstellen. Merkwürdig war hierbei die Erscheinung, dass früher schon einmal evakuierte Röhren, die jetzt auf die Pumpe gebracht wurden, sich viel schwieriger evakuieren liessen, indem sie 2—3 mal soviel Zeit brauchten, wie eben frisch geblasene Glasröhren.

Brachte man beim Auftreten der Leuchterscheinung in die Nähe der Glaskugel die Hand, so steigerte sich die Lichtintensität. Ja sogar vor Auftreten des rosafarbigen Ringes konnte man durch Berühren mit der Hand eine Lichterscheinung hervorrufen. Berührte man die Röhre nach einigen Pumpenzügen, so ging ein breiter, wenn auch sehr matter Lichtstrom von geschichtetem Licht in der Längsrichtung durch die Röhre. War diese weiter evakuiert, so gingen auch von dieser elektrodenlosen Röhre (wie schon früher beobachtet wurde), von den Berührungsstellen sich kegelförmig ausbreitende Kathodenstrahlen aus, die an ihren Aufschlagstellen grünliche Fluorescenz hervorriefen.

3.

Es fragt sich nun, wie gross ist der optische Nutzeffekt, d. h. wie gross ist der Energieverbrauch in der Glaskugel?

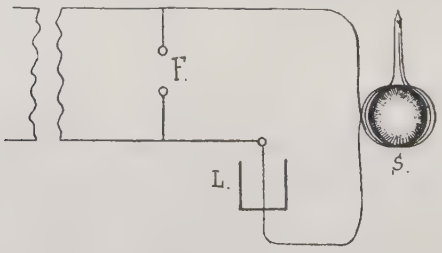
Diese Frage kann man auf verschiedene Arten beantworten. Das einfachste wäre, die in die Primärspule hineingesandte Wattzahl zu messen und auf diese die resultierende Leuchtstärke zu beziehen. Oder man könnte die Verluste, die im Induktorium, in der Funken-

strecke und der Flasche entstehen, berechnen, und hieraus auf den Energieverbrauch in der Röhre schliessen. Freilich würde dies zu komplizierten und auch ungenauen Berechnungen führen. Vor allem würde dadurch aber nicht der Kernpunkt der Frage getroffen. Eine Elektrisiermaschine als Energiequelle würde z. B. voraussichtlich mit weniger schlechtem Nutzeffekt arbeiten. Wissen will man ja nur, welcher Teil der in die Leydener Flasche gesteckten Energie in Licht umgesetzt wird.

Dazu kann man von folgender Erwägung ausgehen: Die gesamte in dem Entladungskreis der Leydener Flasche verbrauchte Energie ist gleich der der Flasche zugeführten.

Pro Entladung: $E = {}^1/_2\ Q\ V$, wobei Q = zugeführte Elektricitätsmenge, V Potential bedeuten, Q $V\ C$, wenn C Kapazität der Flasche, also die Leistung: $L_t = {}^1/_2\ V^2\ C$. Dies wäre bei einer Entladung, und bei n Entladungen:

$$L_t = \frac{n}{2}\ V^2\ C.$$



Hiermit ist aber nur die im ganzen Stromkreis verbrauchte Energie bestimmt, nicht die, die zur Licht-

erregung in der Schleife S erforderlich ist. Der Hauptverbrauch liegt in der Funkenstrecke F und beträgt:

$$L_f = \int i^2 w_f \cdot dt.$$

Die in S geleistete Arbeit wäre also:

$$A \quad n \left(\frac{V^2 C}{2} - \int i^2 w_f \cdot dt \right)$$

Da die Schleife S noch eine Induktionswirkung ausübt, indem man sie als primäre und die in derselben befindliche Röhre als sekundäre Spule auffasst, so kommt hier noch eine magnetische Arbeit hinzu. Diese ist jedoch über die ganze Zeit intregriert o. Dagegen steigt die Stromstärke im induzierten Stromkreis, sagen wir bis i^1, sodass noch eine weitere Arbeitsleistung: $\int i^{1^2} w_s \, dt$ hinzutritt.

Die in dem Glasballon verbrauchte Energie ist jetzt also:

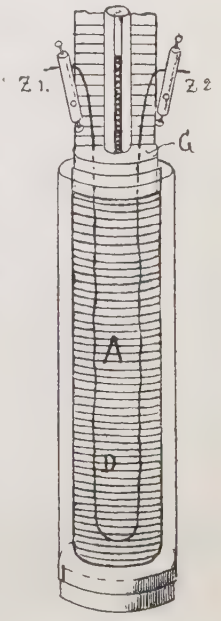
$$\int i_1^2 w_s \cdot dt \quad n \left(\frac{V^2 C}{2} - \int i^2 w_f \cdot dt \right)$$

Die Grössen: n, V, C liessen sich verhältnismässig leicht bestimmen, doch grosse Schwierigkeit machte die Bestimmung des Widerstandes in der Funkenstrecke. Versuche nach dieser Richtung schlugen leider ganz fehl.

Statt dessen versuchte ich den Energieverbrauch direkt experimentell zu bestimmen. Dies gelang mir auf folgende Weise:

Ein etwas grösseres Probierglas A, das mit rot gefärbtem Alkohol angefüllt war, wurde mit einem Gummipfropfen G verschlossen. Durch eine Oeffnung

ragte ein langes Kapillarrohr in das Probierglas hinein, in welchem sich noch ein dünner Kupferdraht *D* von hohem Widerstande befand, zu dem Zuleitungen z_1 und z_2 von aussen führten. Das Ganze wurde luftdicht abgeschlossen und alle Luftblasen sorgfältig entfernt.



Geht nun Strom durch den Draht *D*, so wird er stark erwärmt, und die Flüssigkeit wird in der Kapillarröhre steigen. An einer dahinter aufgestellten Skala kann man die Steighöhe genau ablesen. Geaicht wurde das Instrument mit Gleichstrom, und es entsprach 1 mm Steighöhe 6,1 Watt.

Schwierigkeiten machte noch die Instandhaltung des Apparates, denn grossen Temperaturdifferenzen durfte er nicht ausgesetzt werden. Kühlte sich die Temperatur nur um einige wenige Grade ab, so zog sich der Alkohol zusammen, verschwand ganz aus der Kapillare, und es bildeten sich Luftblasen im Innern des Probierglases, welche die Messungen ungenau machten. Um dieses zu verhüten, setzte ich eine Glasröhre mittelst eines Gummipfropfens, in dem sich eine Oeffnung befand, auf die Kapillare. War nun eine Reihe von Messungen beendet, und war vor einer Vornahme neuer Messungen ein Sinken der Zimmertemperatur zu erwarten, so wurde rot gefärbter

Alkohol in das Glasröhrchen gegossen, der Alkoholfaden durch Erwärmen bis in das Glasröhrchen getrieben, so dass jetzt für das Zusammenziehen und das Ausdehnen des Alkohols ein grosser Spielraum war, d. h. das Probierglas sowohl Alkohol aus dem Glasröhrchen beziehen als auch an dasselbe abgeben konnte. Vor Beginn einer jeden neuen Reihe von Messungen wurde das Glasröhrchen abgenommen und so viel Alkohol durch Erwärmen hinausgetrieben, bis der Alkoholfaden eine geeignete Steighöhe frei hatte. Um den gesamten Apparat vor äusseren Temperatureinflüssen möglichst zu schützen, wurde das Probierglas in einen weiten Glascylinder, und das Ganze in ein Becherglas gesetzt, das mit einem grossen Korke verschlossen war.

4.

Der grösste Teil der Energie im III. Stromkreis wird jedenfalls ausserhalb der Stromschleife *S* verbraucht. Zur Erregung der Leuchtkraft kommt nur ein kleiner Bruchtheil in Betracht. Gemessen wurde einmal die ganze Energiemenge, und sodann die in der Schleife und dem leuchtenden Rohre verbrauchte Menge als Differenz der Energieen des Gesamtkreises mit und ohne leuchtendes Rohr.

Wurde eine genügend evakuierte Röhre von der hier abgebildeten Gestalt, in die etwas Quecksilber gebracht war, den elektrischen Schwingungen in der Schleife ausgesetzt, so leuchtete dieselbe, wie schon gesagt, hell auf. Die Leuchtkraft wurde auf der Photometerbank durch Vergleich mit einer Hefnerlampe bestimmt.

Die Messungen lieferten folgende Resultate:

In den Tabellen bedeutet:

Wdg. = Zahl der Windungen der Stromschleife.
F. = Grösse der Funkenstrecke in mm.
Diff. = Differenz der Steighöhen in mm.
N.K. = Leuchtkraft in Normalkerzen.
Watt = aus Diff. berechnete Watt.

TABELLE I.

Hg-Röhre A. ⌀ 10 cm.

Wdg.	F.	Steighöhe ohne Röhre	Steighöhe mit Röhre	Diff.	N.K.	Watt	Mittelwatt	pro 1 N.K. Watt
	8	26,9	15,7	11,2	11	68,32		
4	„	26,5	15,0	11,5	„	70,15	69,94	6,35
	„	27,0	15,3	11,7	„	71,37		
	8	30,8	21,2	9,6	9	56,12		
3	„	30,2	20,1	10,1	„	61,61	59,14	6,56
	„	30,6	20,8	9,8	„	59,71		
	8	33,4	26,0	7,4	6,0	45,14		
2	„	33,2	26,8	6,4	„	40,04	42,22	7,52
	„	33,2	26,4	6,8	„	41,48		
	8	36,2	34,4	1,8	ungf. 1,5; nicht	10,98		
1	„	36,4	34,4	2,0	genau zu photomet.	12,20	10,57	10,00
	„	36,0	34,6	1,4	da zu sehr flackert	8,54		

TABELLE II.

Hg = Röhre B. ⌀ 10 cm.

Wdg.	F.	Steighöhe ohne Röhre	Steighöhe mit Röhre	Diff.	N.K.	Watt	Mittel-watt	pro 1 N.K. Watt
	8	31,2	21,2	10,0	16	61,00		
4	„	30,4	21,0	9,4	„	57,34	58,96	3,68
	„	30,2	20,6	9,6	„	58,56		
	8	31,8	23,6	8,2	13	50,02		
3	„	31,2	23,2	8,0	„	48,80	50,02	3,80
	„	31,4	23,0	8,4	„	51,24		
	8	32,8	26,6	6,2	9	37,82		
2	„	32,6	26,0	6,6	„	40,21	40,04	4,40
	„	33,3	26,4	6,9	„	42,09		
	8	36,4	33,6	2,8	1,5	17,08		
1	„	36,6	34,2	2,4	„	14,64	15,04	10,00
	„	36,2	34,0	2,2	„	13,42		

Wurden jetzt die Stromschleifen von *A* und *B* so geschaltet, dass je 2 Stromschleifen von 4, 3, 2 und 1 Windung in Serie geschaltet waren und die Röhren hineingebracht, so leuchteten beide gleich hell, die Anzahl ihrer Normalkerzen addierte sich, nicht aber der Wattverbrauch, sondern der war ungefähr derselbe wie bei einer Röhre.

TABELLE III.

Hg-Röhren A und B in Serie. ⌀ 10 cm.

Wdg.	F.	Steighöhe ohne Röhre	Steighöhe mit Röhre	Diff.	N.K.	Watt	Mittelwatt	pro 1 NK Watt
	8	24,4	15,0	9,4	26	57,34		
4	„	24,8	15,6	9,2	„	55,12	57,39	2,21
	„	25,0	15,2	9,8	„	59,71		
	8	25,6	17,0	8,6	22	52,46		
3	„	24,6	16,6	8,0	„	48,80	50,83	2,31
	„	24,6	16,2	8,4	„	51,24		
	8	27,6	20,8	6,8	15	41,48		
2	„	27,8	20,4	7,4	„	45,14	42,49	2,82
	„	27,2	20,5	6,7	„	40,87		
	8	28,4	25,9	2,5	Weg. sehr grossen Flackerns schlecht zu bestimmen	15,25		
1	„	30,0	28,0	2,0		12,20	13,62	4,47
	„	28,8	26,6	2,2		13,42		

Die Stromschleifen, parallel geschaltet, ergaben bei vier Windungen in Röhre *A* 11 N. K., bei Röhre *B* nur noch 3 N. K.

TABELLE IV.

Hg-Röhren A und B parallel geschaltet.

Wdg.	F.	Steighöhe ohne Röhre	Steighöhe mit Röhre	Diff.	N. K.	Watt	Mittelwatt
	8	34,8	25,4	9,4	14	57,34	
4	„	35,0	25,2	9,8	„	59,71	59,14
	„	35,5	25,6	9,9	„	60,39	

Bei drei Windungen leuchtet Röhre *B* nur manchmal hell auf, jedoch besser, wenn Röhre *A* aus der Stromschleife herausgenommen wurde. Jedenfalls sieht man immer in *B* geschichtetes Licht der Längsrichtung nach hindurchgehen. Bei zwei Windungen ist Röhre *B* völlig dunkel, *A* leuchtet noch; wird *B* herausgenommen, so geht wieder geschichtetes Licht durch *B*.

Bei einer Windung leuchtet *A* nur sehr schwach und selten auf, grösstenteils zeigt sich jetzt auch in *A* geschichtetes Licht, das in *B*, wenn *A* wiederum herausgenommen wird, noch schwächer wie vorher bei zwei Windungen geworden ist.

Durch besonders glückliche Umstände war es mir gelungen, ein ganz vorzügliches Leuchtrohr, das auch nur 10 cm Durchmesser hatte, herzustellen. Bei fast demselben Wattverbrauch erhielt ich bedeutend höhere Lichtintensität. Ich untersuchte diese Röhre *C*, indem ich einmal 1 und dann 2 Leydener Flaschen im Stromkreis hatte; im letzteren Falle musste ich, um gleiche Helligkeit zu erreichen, die Funkenstrecke halbieren.

TABELLE V.

Hg = Röhre C. ⊘ 10 cm. 1 Leydener Flasche.

Wdg.	F.	Steighöhe ohne Röhre	Steighöhe mit Röhre	Diff.	N.K.	Watt	Mittelwatt
	10	33,6	23,6	10,0	25	61,00	
4	„	34,5	23,2	11,3	„	68,93	63,84
	„	33,5	22,4	10,1	„	61,61	
	10	34,8	25,8	9,0	22	54,90	
3	„	35,3	26,8	8,5	„	48,85	52,95
	„	34,6	25,4	9,2	„	55,12	
	10	36,4	31,2	5,2	15	31,72	
2	„	35,7	30,9	4,8	„	29,28	32,33
	„	35,4	29,5	5,9	„	35,99	
	10	37,3	35,2	2,1	7	12,81	
1	„	39,1	36,6	2,5	„	15,25	15,60
	„	39,8	36,8	3,0	„	18,74	

TABELLE VI.

Hg-Röhre C. ⌀ 10 cm. 2 Leydener Flaschen.

Wdg.	F.	Steighöhe ohne Röhre	Steighöhe mit Röhre	Diff.	N.K.	Watt	Mittel-watt
	5	33,8	22,6	11,2	25	68,32	
4	„	34,0	22,0	12,0	„	73,20	70,83
	„	33,2	21,4	11,8	„	70,98	
	5	35,0	24,4	10,6	22	64,66	
3	„	34,8	24,8	10,0	„	61,00	63,84
	„	35,8	25,0	10,8	„	65,88	
	5	37,6	32,2	5,4	15	32,94	
2	„	37,4	32,2	5,2	„	31,72	34,08
	„	37,2	31,2	6,0	„	36,60	
	5	37,8	34,2	3,6	7	21,96	
1	„	37,4	34,4	3,0	„	18,30	20,32
	„	38,8	35,4	3,4	„	20,70	

Im Anhang sind die Versuchsresultate durch Curven dargestellt. Je 3 Curven gehören zusammen, und es sind einmal die Watt und dann die N.K. als Function der Windungen und schliesslich die N.K. als Function der Watt dargestellt.

Einige Versuche stellte ich noch mit einer Röhre von der nachstehend abgebildeten Form an: Je weiter

die Windungen auseinander gezogen wurden, um so breiter, aber auch um so schwächer wurde die Lichterscheinung. An beiden Enden trat kein Leuchten

auf. Am stärksten war es dort, wo die Windungen am dichtesten waren, doch durften sie sich nicht berühren. Wurde jetzt eine zweite Reihe von Windungen auf das Rohr geschoben, so dass die Windungen die beiden Hälften der Röhre bedeckten, so bildete sich auch in der Mitte der zweiten Windung ein leuchtender Ring aus. Von 48 Röhren, die ich untersuchte, sind die vorstehenden die Röhren, welche die günstigsten Resultate ergaben. Im ganzen zeigte sich, dass die Leuchtkraft mit dem Durchmesser zunimmt.

Versuche, die mit einem grossen Glasballon von ungefähr 35 cm Durchmesser gemacht wurden, schlugen leider fehl, weil die Leistungsfähigkeit des Induktoriums nicht ausreichte.

Auch auf verschiedene Gase: Wasserstoff, Sauerstoff, Leuchtgas, Luft, wurden die Versuche ausgedehnt. Die hierbei gefundenen Resultate sind aus den nachstehenden Tabellen und den Curven im Anhang ersichtlich.

TABELLE VII.

Wasserstoff.

Wdg.	F.	Steighöhe ohne Röhre	Steighöhe mit Röhre	Diff.	N. K.	Watt	Mittelwatt
4	12	10,0	6,4	3,6	0,62	21,96	21,95
	„	10,3	6,5	3,8	„	23,18	
	„	10,1	6,7	3,4	„	20,71	
3	12	10,1	8,9	1,2	0,56	7,32	8,13
	„	10,1	8,6	1,5	„	9,15	
	„	10,4	9,1	1,3	„	7,93	
2	12	14,5	13,0	1,5	0,49	9,15	8,74
	„	14,5	13,3	1,2	„	7,32	
	„	14,3	12,7	1,6	„	9,76	
1	12	15,6	15,1	0,5	sehr schwaches Leuchten	3,05	3,05

TABELLE VIII.

Sauerstoff.

Wdg.	F.	Steighöhe ohne Röhre	Steighöhe mit Röhre	Diff.	N. K.	Watt	Mittel-watt
4	12	10,5	7,0	3,5	0,59	21,35	20,74
	„	10,0	6,9	3,1	„	18,91	
	„	10,3	6,7	3,6	„	21,96	
3	12	10,0	8,8	1,2	0,31	7,32	7,72
	„	9,8	8,5	1,3	„	7,93	
	„	9,8	8,5	1,3	„	7,93	
2	12	12,2	11,4	0,8	0,23	4,88	4,67
	„	12,0	11,4	0,6	„	3,66	
	„	12,3	11,4	0,9	„	5,49	
1	12	14,8	14,4	0,4	sehr schwaches Leuchten	2,44	2,44

TABELLE IX.

Leuchtgas.

Wdg.	F.	Steighöhe ohne Röhre	Steighöhe mit Röhre	Diff.	N. K.	Watt	Mittel-watt
	12	11,5	8,7	2,8	0,73	17,08	
4	„	11,3	8,6	2,7	„	16,47	16,87
	„	11,3	8,5	2,8	„	17,08	
	12	13,5	11,5	2,0	0,57	12,20	
3	„	13,7	11,8	1,9	„	11,59	12,40
	„	13,7	11,5	2,2	„	13,41	
	12	13,5	11,8	1,7	0,28	10,37	
2	„	13,6	12,0	1,6	„	9,76	10,16
	„	13,3	11,6	1,7	„	10,37	
1	12	14,8	14,0	0,8	sehr schwaches Leuchten	4,88	4,88

TABELLE X.

Luft.

Wdg.	F.	Steighöhe ohne Röhre	Steighöhe mit Röhre	Diff.	N.K.	Watt	Mittel-watt
	12	10,5	8,7	1,8	0,4	10,98	
4	„	10,5	8,6	1,9	„	11,51	11,33
	„	10,7	8,8	1,9	„	11,51	
	12	12,5	11,2	1,3	0,31	7,93	
3	„	12,7	11,4	1,3	„	7,93	8,33
	„	12,7	11,2	1,5	„	9,15	
	12	13,1	12,0	1,1	0,17	6,71	
2	„	13,0	11,8	1,2	„	7,32	6,71
	„	13,2	12,2	1,0	„	6,10	
	12	14,0	13,1	0,9	sehr	5,49	
1	„	14,2	13,6	0,6	schwaches	3,66	4,67
	„	14,3	13,5	0,8	Leuchten	4,88	

Aus den angestellten Versuchen und Messungen ergiebt sich also:

Elektrodenlose Hg-Röhren leuchten bei der beschriebenen Versuchsanordnung und bei richtiger Verdünnung mit schönem, ruhigem, weisslichen Licht.

Das günstigste Resultat, das ich erzielte, war ein Wattverbrauch von 2,21 Watt pro 1 N. K., und zwar bei den Röhren *A* und *B* in Serie geschaltet. Ein fast ebenso günstiges Resultat erhielt ich bei Röhre *C* und 1 Leydener Flasche: Einen Wattverbrauch von nur 2,5 Watt pro 1 N. K.

Mit kleinerer Kapazität der Flasche, also schnelleren Oscillationen und kräftigerer Entladung, wächst die

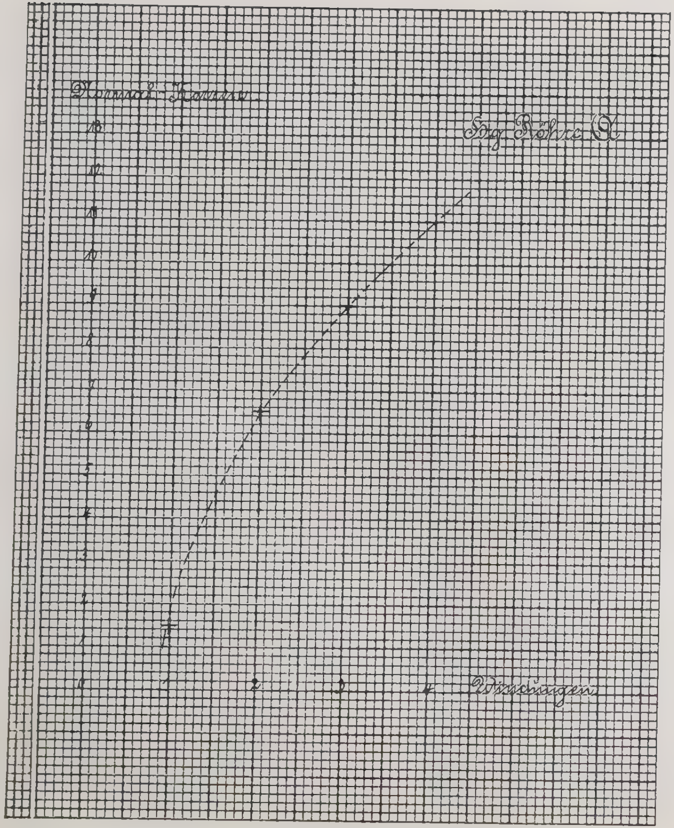
Helligkeit. Im übrigen ist die Helligkeit eine Funktion sowohl der Verdünnung der Röhre, als auch der Anzahl der Windungen in der Stromschleife, und zwar tritt das Maximum entsprechend der Grösse der benutzten Röhren bei 4 Windungen auf.

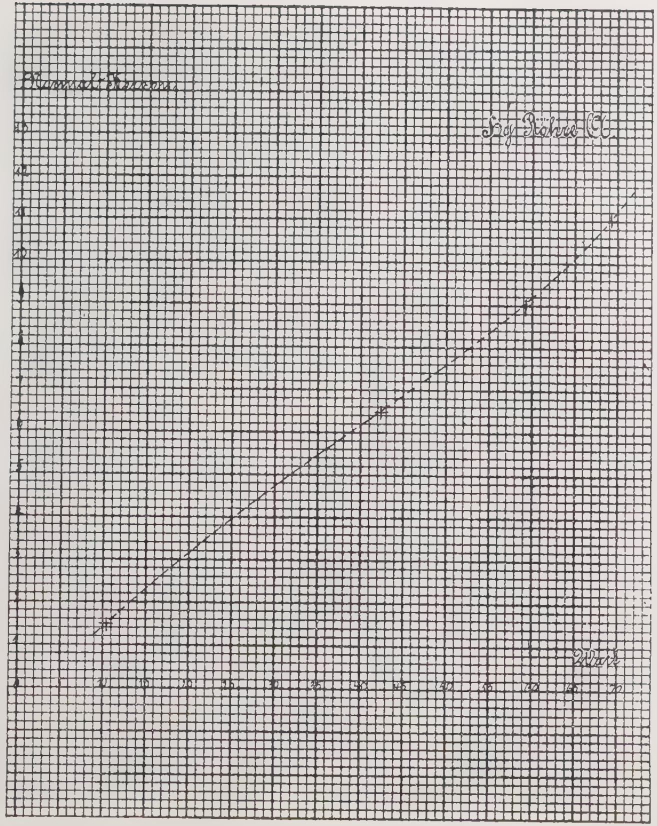
Die Helligkeit steigert sich, wie nach der Theorie des Zustandekommens von Leuchterscheinungen leicht einzusehen ist, mit dem Grade der Verdünnung, und bei einem bestimmten Punkte, dem „kritischen Druck", tritt das Maximum auf, dann nimmt die Helligkeit schnell ab, um bald ganz zu verschwinden.

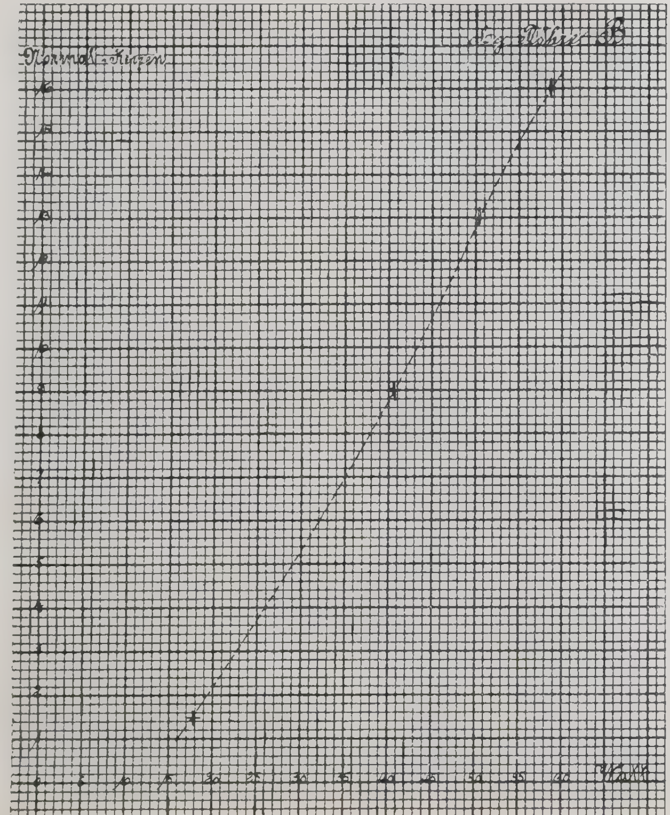
Der Wattverbrauch wird pro 1 N. K. bis zum Maximum der Leuchterscheinung immer kleiner und kleiner, um dort sein Minimum zu erreichen und wieder grösser zu werden.

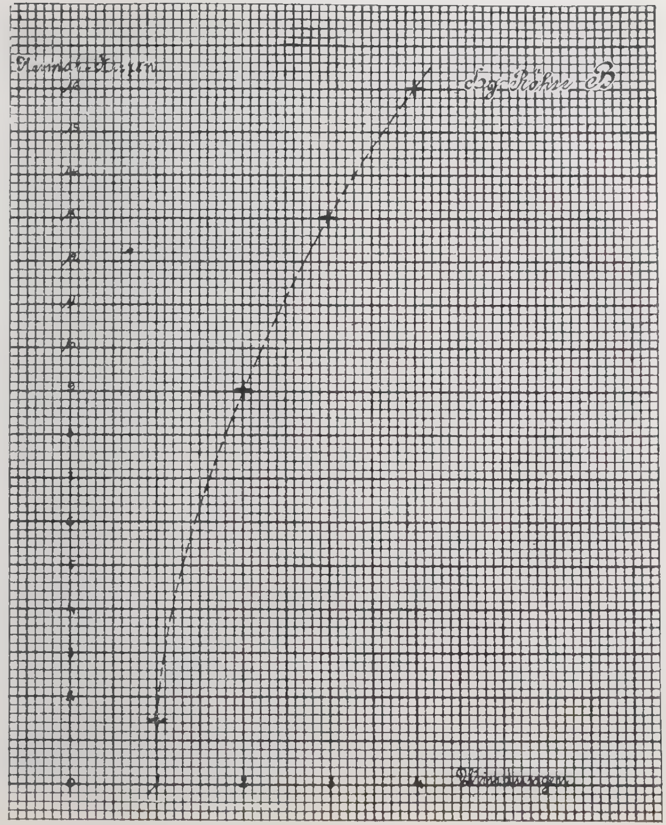
Wurden 2 oder mehr Hg-Röhren hintereinander geschaltet, so addierten sich die Lichtstärken, mit der sie vorher einzeln geleuchtet hatten, nicht aber der Wattverbrauch, sondern dieser blieb ungefähr derselbe.

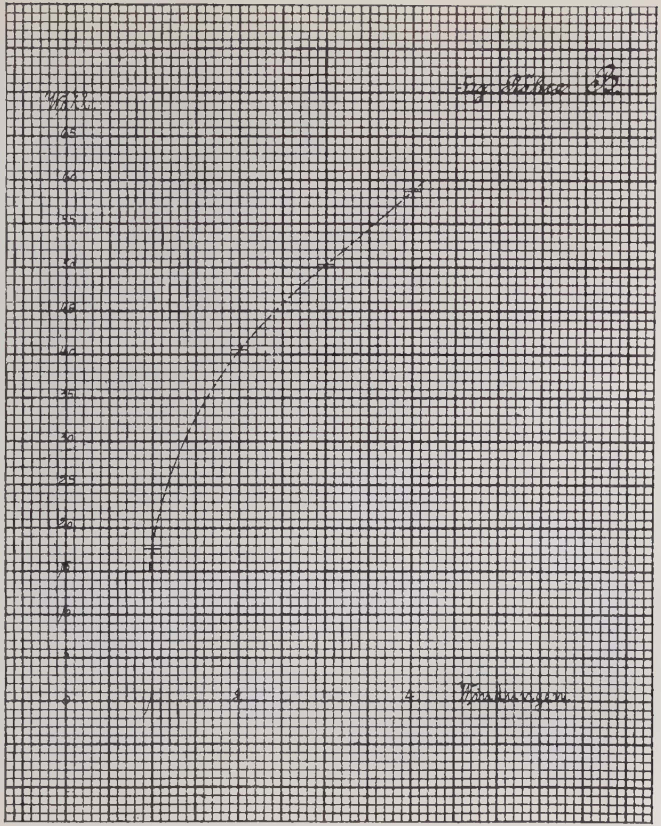
Versuche mit Luft, Leuchtgas, Sauerstoff und Wasserstoff ergaben ungleich ungünstigere Nutzeffekte.


Normal-Kurve
Windungen

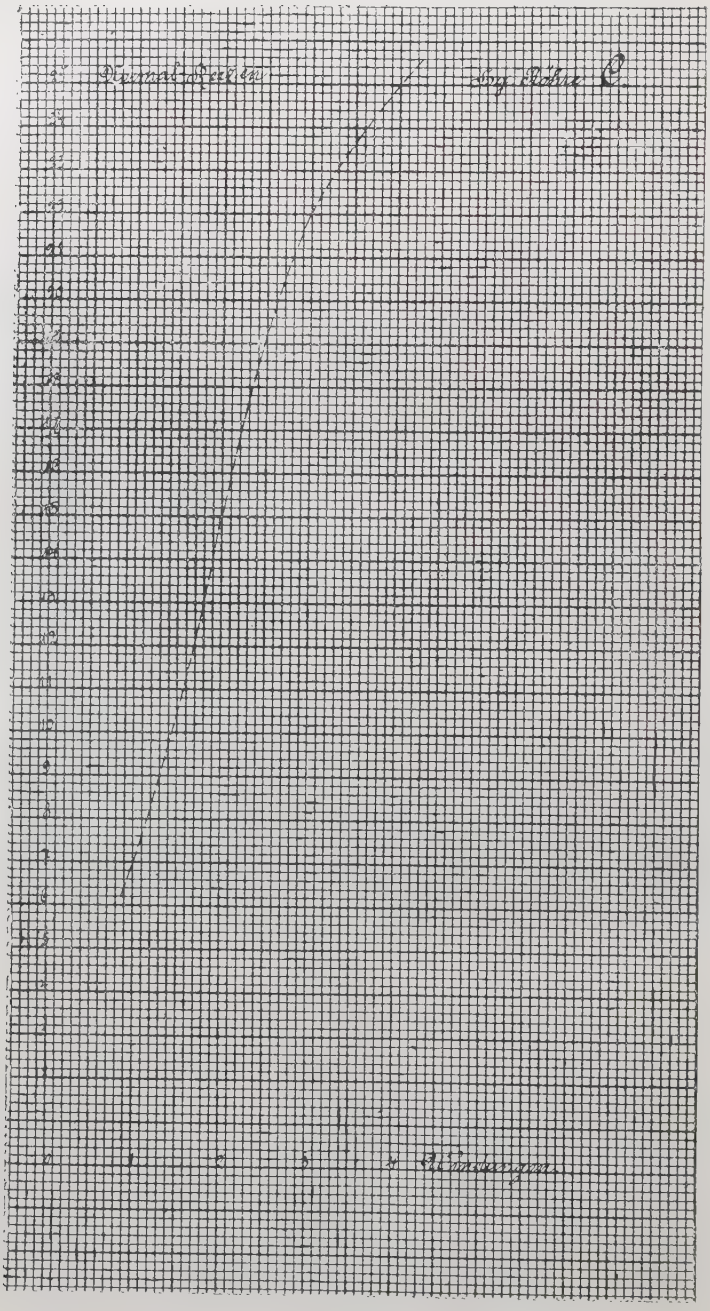

Normal-Kurve
Watt

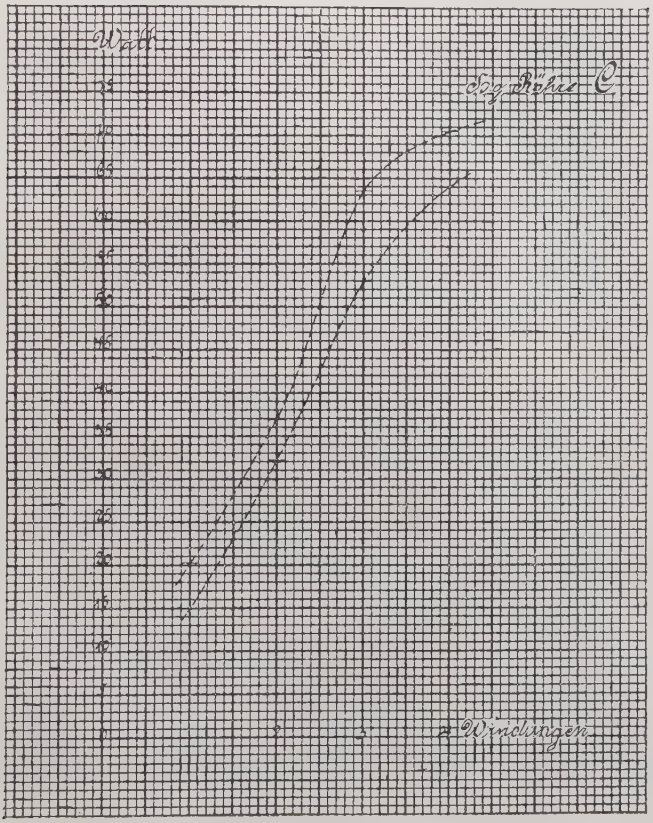

Normal-Kerzen
Sig. Röhre B
Watt
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60

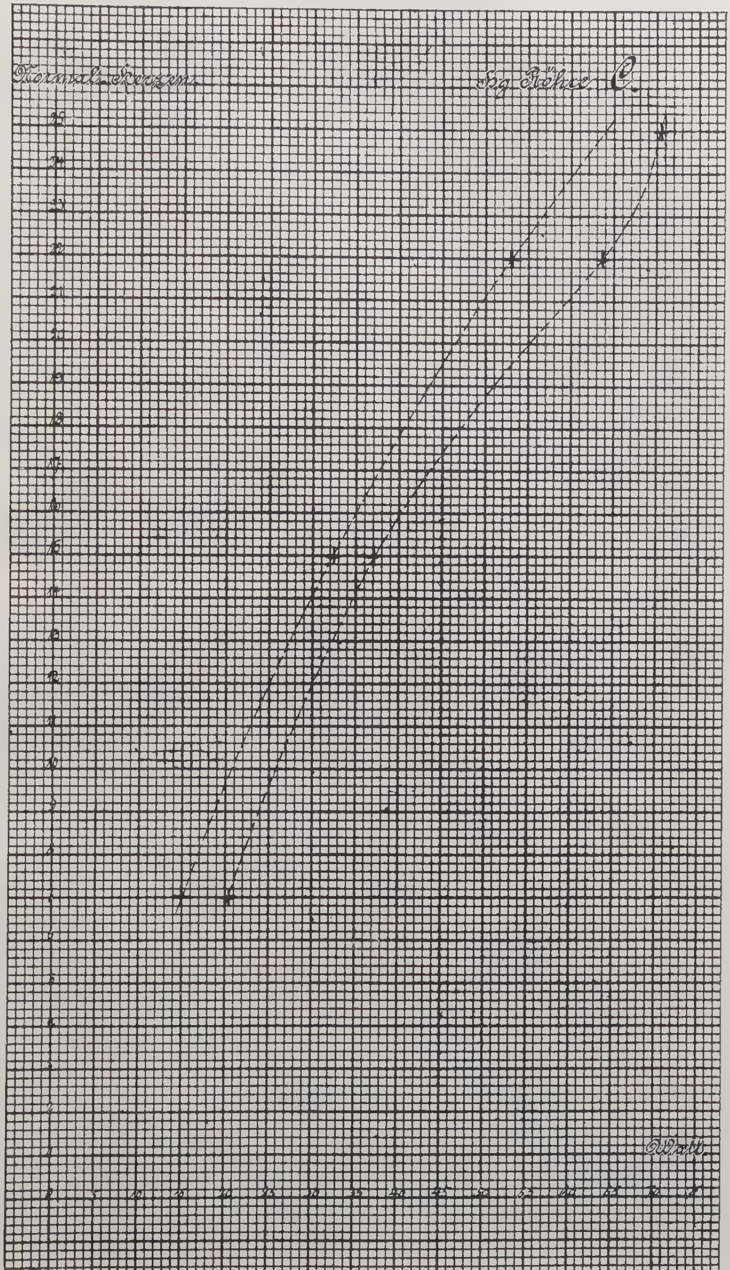

Normal-Kerzen
Sig. Röhre B
Windungen
0 1 2 3 4

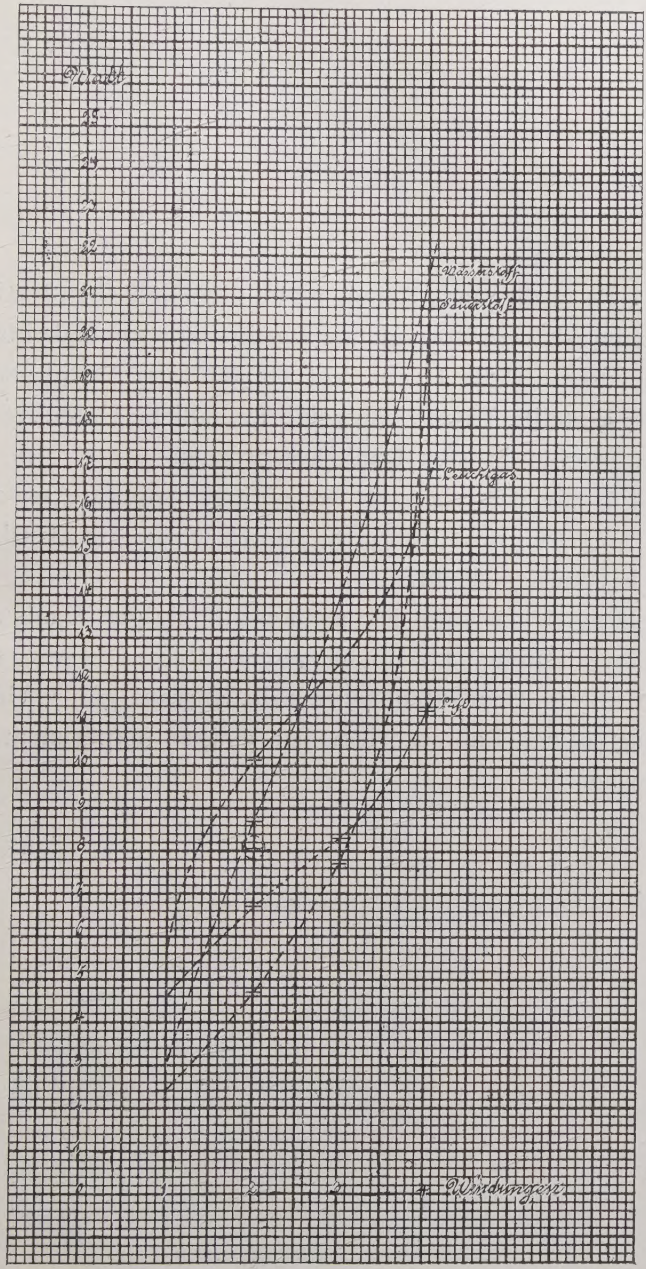


65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
2
4




Watt
Dy. Röhre C
Windungen


Normal-Kerzen.
Hg-Röhre C.
Watt.



Die vorliegende Arbeit ist im physikalischen Institute der Universität zu Rostock angefertigt worden und möchte ich an dieser Stelle Herrn Prof. Dr. Richard Wachsmuth für das gestellte Thema und seine freundliche Unterstützung meinen verbindlichsten Dank aussprechen.

Für die Ueberlassung der nötigen Apparate sei auch dem Director des Institutes, Herrn Prof. Dr. Ludwig Matthiessen gedankt.

Desgleichen sage ich meinen aufrichtigen Dank auch an dieser Stelle Herrn Geheimen Regierungsrat Prof. Dr. Slaby in Charlottenburg für die überaus gütige Ueberlassung seines Laboratoriums zu einigen experimentellen Versuchen.